



## D/A-Umwandlung für Compact Disc:

# Kampf gegen Rauschen

Bei der Rückwandlung von digitalisierten Tonsignalen in analoge Form liegt das Grundproblem beim Quantisierungsrauschen. Dieser Beitrag ist ein Auszug aus einem Referat, das A. Gall, Produktmanager „Compact Disc“ bei Philips, gehalten hat.

Mit der Compact Disc (CD) wird auf dem Gebiet der HiFi-Wiedergabe ein bedeutsamer Schritt zur Verbesserung der Wiedergabequalität getan. Um den ursprünglichen Klang der Aufnahme zurückzuerhalten, muß das PCM-Signal von der Digital-Schallplatte in ein Analog-Signal zurückverwandelt werden.

Das CD-System arbeitet mit linearer Quantisierung bei 16 Bit Auflösung. Bekanntlich ergibt jedes weitere Bit einen um 6 dB verbesserten Signal/Rausch-Abstand oder Dynamik-Umfang. Bei der 16-Bit-Lösung läßt sich theoretisch 96 dB Dynamik-Umfang erreichen. Das Grundproblem einer 16-Bit-D/A-Umwandlung ist das Quantisierungsrauschen. Bei Philips wird es schon vor der D/A-Umwandlung mit Hilfe eines Digitalfilters und eines „Rauschminderers“ (noise shapers) eingeschränkt. Beide zusammen erweitern den Dynamikumfang um 13 dB. Dadurch werden neben zwei Bit in der Rückumwandlung vor allem umfangreiche Analogfilter eingespart und gleichzeitig daraus resultierende Phasenverzerrungen und Temperaturprobleme vermieden.

### Was das Digitalfilter macht

16-Bit-PCM-Aufnahme- und -Übertragungssysteme erfordern für die Umwandlung in Tonsignale Schaltkreise mit sehr hoher Schaltgeschwindigkeit und -genauigkeit. Die Schaltkreise dürfen weder Rauschen noch Verzerrungen erzeugen.

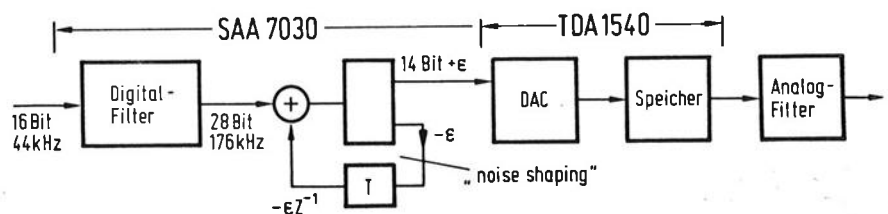
Wenn das PCM-Signal von der Compact Disc unmittelbar dem D/A-Wandler zugeführt würde, könnte das analoge Ausgangssignal nicht ohne weiteres für die HiFi-Wiedergabe genutzt werden. Dafür gibt es zwei Begründungen:

- Die zurückgewonnenen Signale enthalten allzu viele hochfrequente Anteile, die bedämpft werden müssen. Fehlerhafte Bedämpfung führt zu Übersteuerung der Verstärker und der Hochtonlautsprecher. Dadurch steigen die Verzerrungen im Tonfrequenzbereich an.
- Es gibt immer einen geringen Unterschied zwischen der Originalsignal-Amplitude und dem digitalisierten Signal nach der Zurückgewinnung.

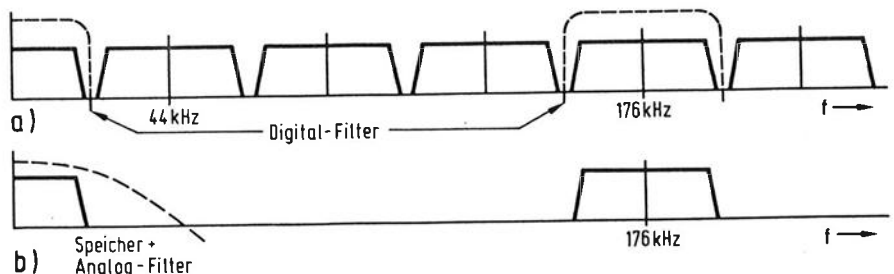
Diese Fehler hört man als Rauschen (Quantisierungsrauschen). Die Qualität von PCM-Systemen in bezug auf Rauschen und Dynamik-Umfang wird prinzipiell durch das Quantisierungsrauschen bestimmt. Je feiner die Quantisierung (größere Bit-Zahl), desto geringer das Rauschen.

Das Umwandlungssystem hat daher die zusätzliche Aufgabe, alle unerwünschten Frequenzkomponenten auszufiltern und dabei kein zusätzliches Rauschen durch eigene Systemungenauigkeiten zu erzeugen. Für die praktische Anwendung heißt das, daß der Amplitudengang für die Tonnutzfrequenz bis zu 20 kHz geradlinig sein soll und darüber ab 24 kHz um mindestens 50 dB bedämpft sein soll.

Filter spielen eine wichtige Rolle im D/A-Wandlersystem. Obwohl Analog-Filter leicht aus bekannten Bauelementen aufgebaut werden können, haben sie in dieser Anwendung Nachteile: Um genügend Ausgangssignal in brauchbarer Verzerrungsfreiheit zu erhalten, müßte ein Filter bis zu sechs Spulen enthalten. Werden stattdessen aktive Filter mit Operationsverstärkern, Widerständen und Kondensatoren aufgebaut, bekommt man bei den vorhandenen Signalpegeln Wärmeprobleme. Schließlich muß bei Analogfiltern eine Phasenkorrektur vorgenommen werden. Aus diesen Gründen wählt Philips für sein Konzept eine Kombination aus Digital- und Analog-Filter.



① Rückwandlung: Kombination aus Digital- und Analogfilter erforderlich



② D/A-Umsetzung: a) Signale mit dem Vielfachen von 44,1 kHz; b) Frequenzspektrum nach Durchlaufen von Speicher und Analogfilter



## Wie das System aufgebaut ist

Das Umwandlungssystem besteht aus drei Baugruppen: dem Digital-„over-sampling“-Filter, dem Rauschminderer und einem 14-Bit-D/A-Wandler mit Speicher (Bild 1). Das Digital-Filter mit „over sampling“ (Überabtastung) mit der Bezeichnung SA 7030 gliedert sich in drei Teile: „over sampling“, Transversal-Filter und „noise shaper“ (Rauschverminderer).

Beim CD-System werden zwei 16-Bit-Datenströme, einer je Stereokanal, mit der Abtastfrequenz 44,1 kHz in das Umwandlungssystem eingelesen; die Taktfrequenz beträgt 2,1168 MHz. Das Eingangssignal wird zunächst einem Schieberegister zugeführt, das mit vierfacher Abtast-Frequenz (176,4 kHz) arbeitet. Das hat ein Frequenzspektrum (Bild 2a) mit vielfachen Anteilen der Abtast-Frequenz zur Folge: 88,2 kHz, 132,3 kHz, 176,4 kHz usw.

Dieses Signal wird dann einem Transversal-Filter mit 96 Ausgängen zugeleitet. Darin verzögert ein Schieberegister die ankommenden Abtastwerte so, daß nach Multiplikation mit 12-Bit-genauen Koeffizienten und nachfolgender Addition das gewichtete Mittel einer größeren Anzahl von Ab-

tastwerten erhalten wird. Das Filter hat einen Übergangsbereich zwischen 20 kHz und 24,3 kHz und als Folge der Überabtastung einen Durchlaß um 176 kHz (Bild 2b). Am Ausgang des Transversalfilters steht ein Digitalsignal mit 28-Bit-Wörtern und einer Abtastfrequenz von 176 kHz.

Das Signal im Bereich 176 kHz wird dann durch eine Speicher-Funktion mit  $(\sin x)/x$ -Charakteristik (erster Nulldurchgang bei 176 kHz) und durch einen Analog-Tiefpaß mit -3-dB-Punkt zwischen 30 und 40 kHz unterdrückt. Dies könnte ein Bessel-Filter 3. Ordnung sein, besonders genaue Filterelemente werden jedoch nicht benötigt. Die Speicherfunktion wird durch ein Flipflop hinter dem „over-sampling“-Filter gebildet. Eine geringe Signaldämpfung im Speicher und im Analog-Filter werden durch eine entsprechende Anhebung im Digital-Filter ausgeglichen (Bild 3).

## Verminderung des Quantisierungs-Rauschens

Das Ursprungssignal ist 16 Bit quantisiert. Im Umwandlungssystem sollte daher gleichfalls mit 16-Bit-Genauigkeit gearbeitet werden. Damit das „over sampling“-Filter kein zusätzli-

ches Rauschen erzeugt, arbeitet es mit 28-Bit-Wörtern.

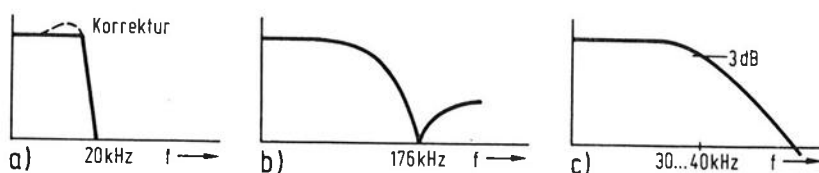
Mit der „over sampling“-Methode läßt sich trotz Verwendung eines 14-Bit-D/A-Wandlers tatsächlich 16-Bit Genauigkeit erreichen. Üblicherweise ergibt die Abrundung eines 28-Bit-Wortes auf 14 Bit einen Signal/Rausch-Abstand von 84 dB. Durch vierfache Überabtastung wird die Rauschleistung nicht gleichmäßig über den Bereich 0...22 kHz, sondern über den vierfachen Bereich (0...88 kHz) verteilt. Mit Hilfe der Filterung fällt aber nur ein Viertel dieser Rauschleistung in den Tonfrequenzbereich (0...22 kHz). Dies gibt eine Verbesserung um 6 dB und in Summe ein Signal/Rausch-Verhältnis von 90 dB.

## Rauschverminderung ergibt weitere 7 dB Gewinn

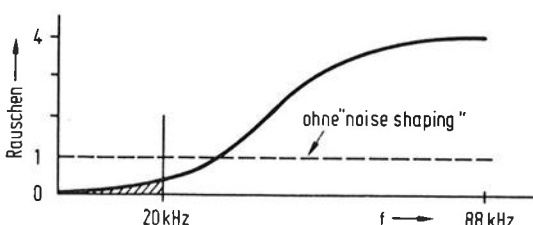
Eine weitere Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses wird durch den Rauschverminderer erreicht. Bei tieferen Frequenzen läßt sich eine Verknüpfung zwischen dem Rundungswert des vorhergehenden Abtastwertes und dem Rundungswert des folgenden herstellen. Dies geschieht im Rauschminderer SAA 7030. Der Rundungswert wird um eine Abtastperiode verzögert und dem Eingangssignal zugefügt. Dadurch wird die Rauschleistung gefiltert, so daß das Quantisierungs-Rauschen nicht mehr gleichmäßig von 0...88 kHz verteilt ist: Im Tonfrequenzbereich ist es stark bedämpft, oberhalb erscheint es verstärkt (Bild 4).

Auf diese Weise wird das Rauschen im Tonfrequenzbereich um weitere 7 dB vermindert. Daraus ergibt sich für diese Schaltungsvariante insgesamt 97 dB Signal/Rausch-Abstand, also einen verbesserten Wert gegenüber der Variante mit einem 16-Bit-D/A-Wandler.

A. Gall



③ **Digitalsignal am Ausgang des Transversalfilters:** a) Verluste werden durch eine entsprechende Anhebung im Digital-Filter ausgeglichen. b) Eine Speicherfunktion mit  $(\sin x)/x$ -Charakteristik und erstem Nulldurchgang bei 176 kHz unterdrückt das Signal. c) Ein Analog-Tiefpaß mit -3-dB-Punkt zwischen 30 und 40 kHz trennt höherfrequente Anteile ab



④ **Filterung der Rauschleistung:** Verknüpfung bei tiefen Frequenzen

## Stichworte zum Inhalt

D/A-Umwandlung, Compact Disc, Quantisierung, Rauschverminderung (noise shaping), Transversalfilter, Überabtastung (over sampling), Analog-Filter, Digital-Filter.